

Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2020

Jani Rouvali

AURINKOLÄMPÖ- JA AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN VERTAILU OMAKOTITALOKOhteessa

Jani Rouvali

AURINKOLÄMPÖ- JA AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN VERTAILU OMAKOTITALOKOhteessa

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella puulämmitteiseen omakotitaloon soveltuva aurinkoenergiaa hyödyntävä järjestelmä. Toimeksiantaja halusi päästä irti kesäaikana työllistävästä puulämmityksestä lämpimän käyttöveden valmistuksessa.

Kesäaikaisen lämpimän käyttöveden määrän arvioinnin jälkeen, kyseiseen omakotitaloon suunniteltiin aurinkolämpö- sekä aurinkosähköjärjestelmät.

Suunnittelun apuna käytettiin Valentin Softwaren simulaatio-ohjelmia T*SOL ja PV*SOL sekä ympäristöministeriön ohjetta "Aurinko-opas 2012". Näiden kahden eri menetelmän tuloksia vertailtiin lisäksi toisiaan vastaan.

ASIASANAT:

aurinkolämpö, aurinkosähkö, aurinkokeräin, aurinkopaneeli, tasokeräin, tyhjiöputkikeräin

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Engineering

2020 | Total number of pages 43 + 2

Jani Rouvali

COMPARISON BETWEEN SOLAR HEAT- AND SOLAR ELECTRICITY SYSTEMS IN A DETACHED HOUSE

The purpose of this thesis was to design two different solar energy systems in a detached house. The employer wanted to get rid of burning firewood in the summertime in the production of domestic hot water (DHW).

After estimating the energy needed in DHW warming, solar heat and solar electricity systems were designed.

Simulations were made with Valentin Software programs T*SOL and PV*SOL. Calculations were based on the guide by the Finnish Ministry of the Environment, "Aurinko-opas 2012". The results of these two methods were compared with each other.

KEYWORDS:

solar heat, solar electricity, solar panel, flat plate collector, evacuated tube collector

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 AURINKOENERGIA	10
2.1 Auringon säteily	10
2.2 Auringon säteilyenergian hyödyntäminen Suomessa	11
2.3 Aurinkoenergian hyödyntäminen nyt ja tulevaisuudessa	12
3 TEKNIIKAT	14
3.1 Aurinkolämpöjärjestelmä	14
3.1.1 Tasokeräin	15
3.1.2 Tyhjiöputkikeräin	16
3.1.3 Pumppuysikkö	17
3.2 Aurinkosähköjärjestelmä	18
3.2.1 Sähköverkkoon liitetty järjestelmä	18
3.2.2 Sähköverkosta irti oleva järjestelmä	19
3.2.3 Aurinkopaneeli	20
3.2.4 Invertteri	22
4 SUUNNITTELUKOHDE	24
4.1 Toimeksianto	24
4.2 Järjestelmän kuvaus	24
4.3 Energiantarpeen määrittely	26
4.4 Mitoituslaskut	27
4.4.1 Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto	27
4.4.2 Aurinkosähköjärjestelmän tuotto	33
4.5 Simulaatiot	37
4.5.1 Aurinkokeräimien simulointitulokset	37
4.5.2 Aurinkosähköpaneelien simulointitulokset	37
5 TULOSTEN TARKASTELU	39
6 YHTEENVETO	40

LIITTEET

Liite 1. Wagner EURO L42 HTF -Solar KEYMARK sertifikaatti

KUVAT

Kuva 1. Auringonsäteilyn pääkomponentit (Chalkias, 2013).	10
Kuva 2. Ilmamassakerroin (PVEDucation, 2019).	11
Kuva 3. Aurinkoenergiapotentiaali Euroopassa (Joint Research Centre, 2012).	12
Kuva 4. Aurinkosähköjärjestelmien maailmanlaajuisen kapasiteetin kehitys 2000–2018 (SolarPower Europe, 2019).	13
Kuva 5. Maailmanlaajuisen aurinkolämpökapasiteetin kehitys 2000–2018 (Solar Heat Worldwide, 2019).	13
Kuva 6. Aurinkolämmitysjärjestelmä (Rakennustieto, 1992).	14
Kuva 7. Tasokeräin (Rakennustieto, 1992).	15
Kuva 8. Tyhjiöputkikeräin (Ra Boe, 2007).	16
Kuva 9. Tyhjiöputki läpivirtauksella (Rkraft, 2009).	17
Kuva 10. Tyhjiöputki lämpöputkella (Rkraft, 2009).	17
Kuva 11. Resol FlowSol B -pumppuyksikkö (Jani Rouvali).	18
Kuva 12. On-grid-järjestelmä (Sähkötieto ry, 2017).	19
Kuva 13. Off-grid -järjestelmä (Sähkötieto ry, 2017).	20
Kuva 14. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno Oy, 2012).	21
Kuva 15. Aurinkopaneeli (LG Electronics Inc, 2019).	21
Kuva 16. 50 Wp aurinkopaneelin ominaiskäyrä (Suntekno Oy, 2012).	22
Kuva 17. Fronius Symo 3.0-3-M invertteri (Fronius International; MC Solar & Electrical PTY LTD).	23
Kuva 18. Suunnittelukohde (Jani Rouvali).	24
Kuva 19. Jäspi Ovali EPK 1.8 kytkennät (Jani Rouvali).	25

KUVIOT

Kuvio 1. Kohteen kuukausittaisen sähkönkulutuksen keskiarvo.	25
Kuvio 2. Lasketut tuotto-odotukset.	32
Kuvio 3. Energian tarve.	35
Kuvio 4. Aurinkopaneelien laskennalliset tuotot.	36
Kuvio 5. Aurinkokeräinten tuotot T*SOL	37
Kuvio 6. Aurinkosähköpaneelien tuotot PV*SOL.	38

TAULUKOT

Taulukko 1. LKV energiantarve.	27
Taulukko 2. Kuukausittaiset säteilymäärät ja keskilämpötilat.	31
Taulukko 3. Laskennassa tarvittavat parametrit.	31
Taulukko 4. Keräinjärjestelmän tuottoarvio.	32
Taulukko 5. Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotto.	36

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)	
A	pinta-ala	[m ²]
AM	air mass coefficient	
a ₁	aurinkokeräimen lämpöhäviökerroin	[W/(m ² K)]
a ₂	kerroin, joka ottaa huomioon kertoimen a ₁ riippuvuuden lämpötilasta	[W/(m ² K ²)]
c _p	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/(kgK)]
c _{cap}	varaajakapasiteetin korjauskerroin	[-]
DHW	Domestic hot water, lämmin käyttövesi	[-]
E _{sät}	auriongon säteilyenergia	[kWh/m ²]
E _{s,pv,out}	aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia vuodessa	[kWh/a]
F _{asento}	ilmansuunnan ja kallistuskulman	
I	virta	[A]
I _{ref}	referenssisäteilytilanne	[kW/m ²]
IAM	Incidence angle modifier, kohtauskulmakerroin	
m	massa	[kg]
MPPT	Maximum power point tracking	
P	teho	[W]
PWM	Pulse width modulation	
Q	energia	[kWh]
R	resistanssi	[Ω]
t	aika	[h]
U	jännite	[V]

U_c	keräinpiirin lämpöhäviökerroin	$[W/(m^2K)]$
U_L	keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin	$[W/K]$
V	tilavuus	$[dm^3]$
VAC	vaihtojännite	$[V]$
VDC	tasajännite	$[V]$
X	häviöt/tarve -suhde	$[-]$
Y	tuotto/tarve -suhde	$[-]$
η	hyötysuhde	$[-]$
ΔT	lämpötilaero	$[K, ^\circ C]$

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen torjunnasta sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä on tullut lähes jokapäiväinen puheenaihe maailmalla sekä myös Suomessa. Paineet uusiutuvien päästöttömien energiamuotojen hyödyntämisestä ovat kasvaneet. Uusiutuvista energiamuodoista potentiaalisin ja eniten käytetty on aurinkoenergia. Se on ehtymätön luonnonvara, jolla pystyttäisiin yksin kattamaan maapallon nykyinen energiantarve (Mertens 2014, 40). Auringosta saatava energia voidaan hyödyntää joko lämpönä tai sähköinä. ”Se sopii kaikille, jotka haluavat säästää rahaa ja ympäristöä auringon ilmaisen ja puhtaan energian avulla” (Tahkokorpi 2016, takakansi).

Suomessa aurinkoenergian käyttöönottoa on hidastanut järjestelmien hinnan lisäksi se, että aurinkoenergiaa ei voida hyödyntää rakennuksien päälämmönlähteenä suurten auringonsäteilyn vuodenaikavaihteluiden takia. Aurinkoenergia on Suomessa tukilämmitysmuoto, joka vaatii rinnalleen jonkin muun energiamuodon päälämmönlähteeksi kylmän talven ajaksi.

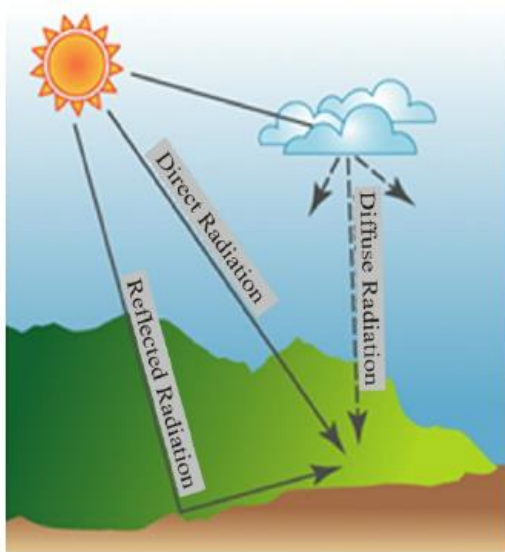
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla aurinkoenergian hyödyntämisen mahdollisuuksia omakotitalossa. Suunnittelukohteeseen mitoitetaan soveltuvat aurinkolämpö- sekä aurinkosähköjärjestelmät.

2 AURINKOENERGIA

2.1 Auringon säteily

Auringon säteilyenergia syntyy auringon ytimessä tapahtuvassa fuusioreaktiossa, jossa vety muuttuu heliumiksi. Tässä reaktiossa vapautuu valtavasti energiaa. Auringon kokonaisteho on $3,8 \cdot 10^{20}$ MW, joka säteilee ulospäin kaikkiin suuntiin. Tästä tehosta maapallolle osuu pieni osa, noin $1,7 \cdot 10^{14}$ kW. Maapallon ilmakehän ulkopuolella neliömetrin kokoiselle pinnalle osuu 1,368 kW säteilyteho, tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Vesihöyrystä, erilaisista kaasumolekyyleistä ja epäpuhtauksista koostuva ilmakehä vaimentaa säteilytehoa ennen kuin auringonsäteet saavuttavat maanpinnan. Osuessaan ilmakehään osa auringonsäteilystä heijastuu takaisin avaruuteen (Ilmatieteenlaitos 2019; Kalogirou 2014, 51; Tahkokorpi 2016, 13.)

Maan pinnalle osuva kokonaissäteily voidaan jakaa kolmeen osaan: suoraan säteilyyn, hajasäteilyyn sekä heijastuneeseen säteilyyn (Kuva 1). Suora säteily (direct radiation) nimensä mukaisesti tulee tarkastelupisteeseen auringosta suoraan muuttamatta välillä suuntaansa. Hajasäteilyksi (diffuse radiation) kutsutaan pilvistä, ilman epäpuhtauksista tai muusta vastaavasta heijastunutta säteilyä. Heijastunut säteily (reflected radiation) on muuttanut suuntaansa maanpinnasta, vesistöistä tai talvella lumen pinnasta (Motiva 2019, Aurinkolämpösanasto.)



Kuva 1. Auringonsäteilyn pääkomponentit (Chalkias, 2013).

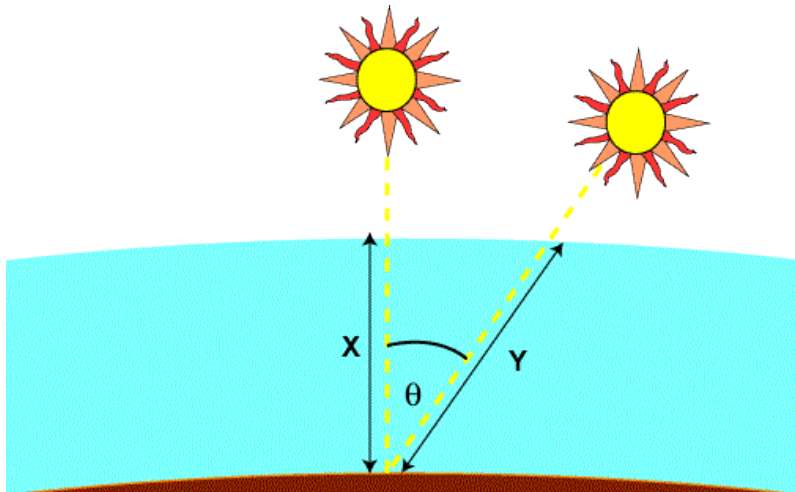
Ilmamassakerroin (AM) on termi, jolla kuvataan valon kulkemaa matkaa ilmakehässä. Se on valon suoraan kulkema matka tarkastelupisteeseen (Y kuvassa 2) suhteutettuna matkaan, jossa aurinko olisi suoraan tarkastelupisteen yläpuolelta (X kuvassa 2). Ilmamassakerroin kuvaa auringonsäteilyn tehon vaimentumista. Ilmamassakerroin määritellään kaavalla 1 (Pveducation.org.)

$$AM = \frac{1}{\cos \theta}$$

Kaava 1. Ilmamassakerroin.

jossa

θ = kulma X:n ja Y:n välillä (Kuva 2)

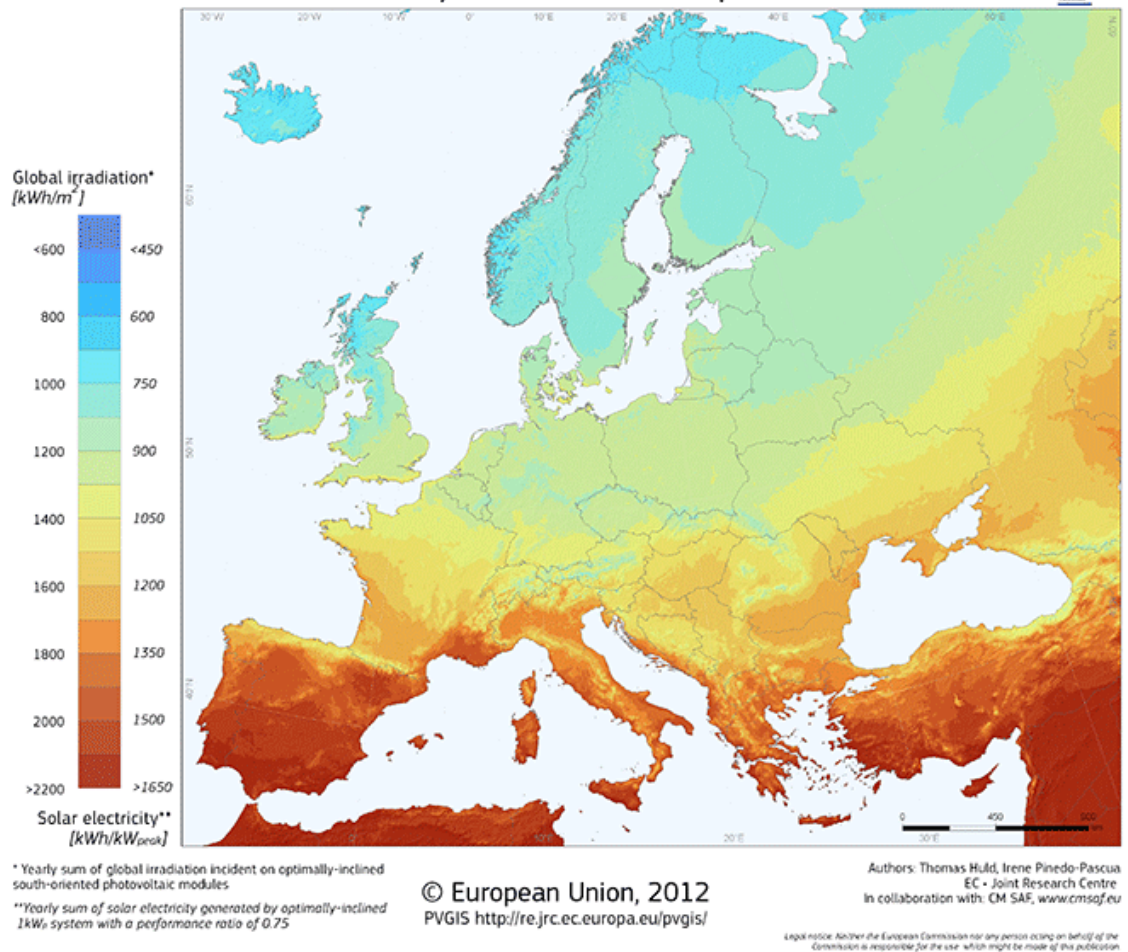


Kuva 2. Ilmamassakerroin (PVEDucation, 2019).

2.2 Auringon säteilyenergian hyödyntäminen Suomessa

Auringon kokonaissäteilyn määrä Etelä-Suomessa on lähes vastaavalla tasolla kuin esimerkiksi Pohjois-Saksassa (Kuva 3). Etelä-Suomessa optimikulmassa etelään suunnatun aurinkopaneelin saama kokonaissäteily määrä on noin 1100 kWh/m². Suomessa vuodenajoista johtuva tuotannon vaihtelu on kuitenkin voimakkaampaa, joten aurinkoenergian hyödyntäminen täällä pohjoisempana on mahdollista lähinnä kesäkuukausina (Motiva 2019, Auringonsäteilyn määrä suomessa.)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



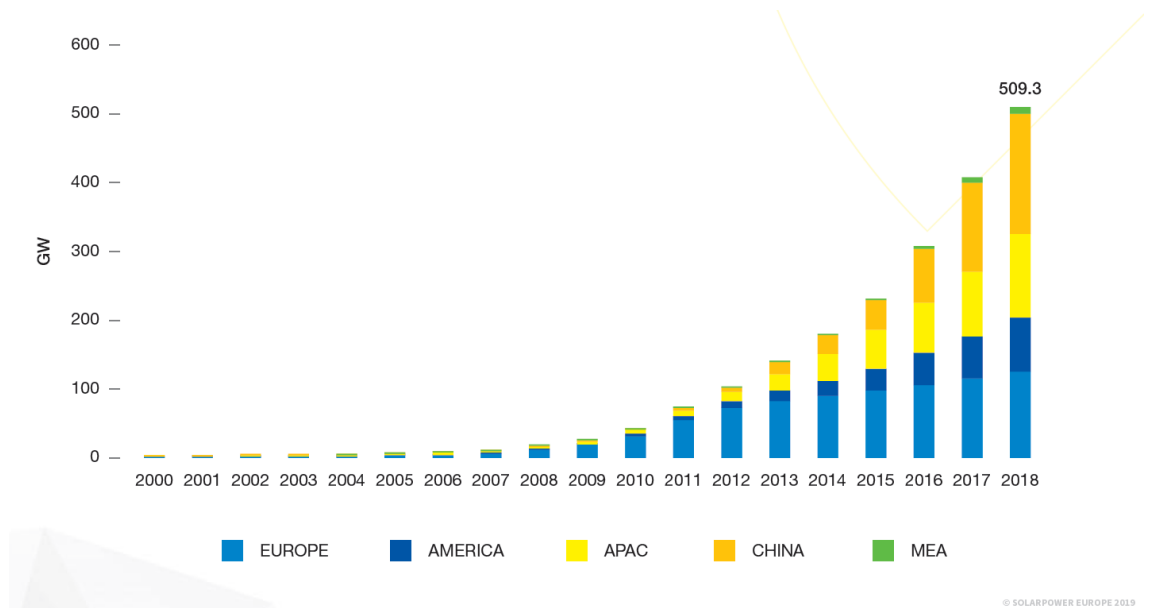
Kuva 3. Aurinkoenergiapotentiaali Euroopassa (Joint Research Centre, 2012).

Aurinkoenergian hyödyntämisen kannalta aurinkopaneelit/aurinkokeräimet kannattaa mahdollisuuksien mukaan suunnata etelään. Suomessa optimaalisin asennuskulma on noin 35-45 astetta (Motiva 2019, Aurinkopaneelien asentaminen.)

2.3 Aurinkoenergian hyödyntäminen nyt ja tulevaisuudessa

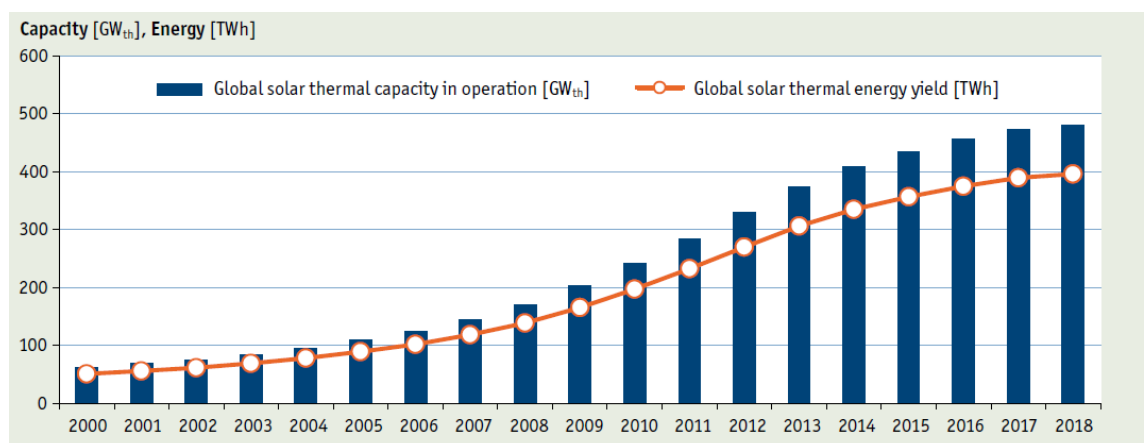
Aurinkoenergiaa hyödynnetään maapallolla yhä enenevässä määrin eri teknologioita hyödyntäen. Tässä työssä käsiteltävistä tekniikoista aurinkosähköjärjestelmien kapasiteetin kasvu on ollut viime vuosina hyvin nopeaa järjestelmien hintojen laskettua. Vuonna 2017 maailmanlaajuinen aurinkosähkökapasiteetti oli lähes 398 GW ja se tuotti 460 TWh energiaa. Vuonna 2018 kapasiteetti oli jo yli 500 GW (Kuva 4) ja

aurinkosähkökapasiteetin ennustetaan kasvavan yhä jatkossakin, vuonna 2022 kapasiteetin ennustetaan olevan jo yli 1 TW (SolarPower Europe 2019, 19.)



Kuva 4. Aurinkosähköjärjestelmien maailmanlaajuisen kapasiteetin kehitys 2000–2018 (SolarPower Europe, 2019).

Aurinkolämpöjärjestelmien maailmanlaajuinen kapasiteetti oli vuoden 2018 lopussa 480 GW_{th}. Markkinatilanne ei kuitenkaan näytä niin ruusuiselta kuin aurinkosähköpuolella, sillä järjestelmien maailmanlaajuinen kapasiteetti ei kasva yhtä voimakkaasti (SolarPower Europe, 2019.)



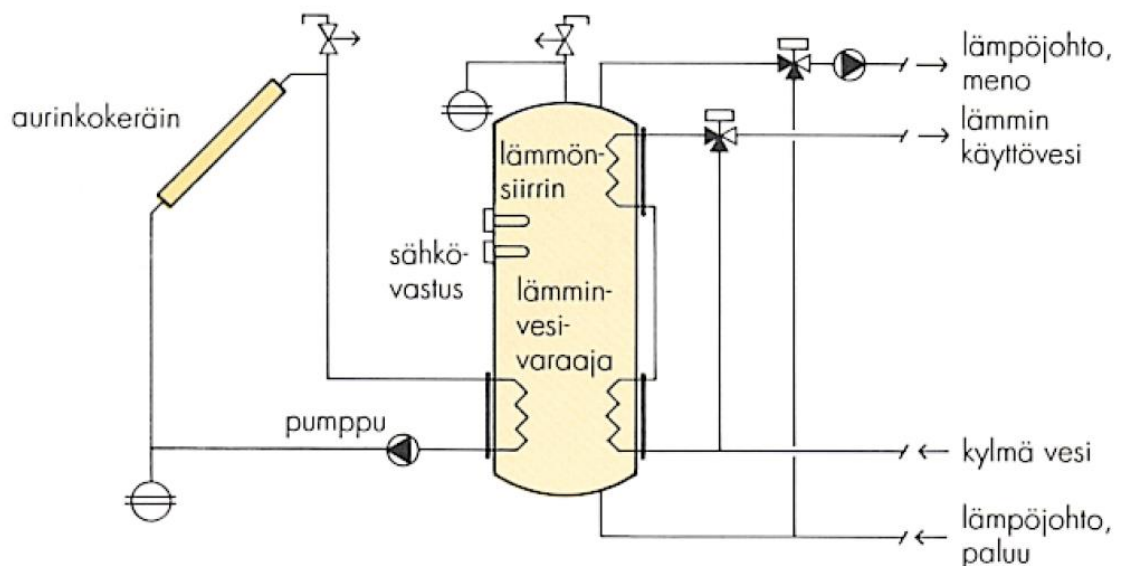
Kuva 5. Maailmanlaajuisen aurinkolämpökapasiteetin kehitys 2000–2018 (Solar Heat Worldwide, 2019).

3 TEKNIIKAT

3.1 Aurinkolämpöjärjestelmä

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää joko aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen Suomen olosuhteissa tarkoittaa lähinnä ikkunoiden kautta tulevaa tai rakennuksen varaavien massojen varaamaa/luovuttamaa lämpöä. Tässä työssä keskitytään aktiiviseen aurinkolämmön hyödyntämiseen, jossa suljetussa järjestelmässä kiertää jäätymätön neste (vesi-propyleeniglykoliseos) pumpun avulla. Aurinkolämpö on Suomessa taloudellisesti kannattavaa, kun sillä korvataan kalliimpaa energiamuotoa. Rakennuksessa tuotettu aurinkolämpö voidaan lukea hyödyksi kiinteistön E-lukulaskennassa (Tahkokorpi 2016, 33; Rakennustieto 2019, 2.)

Aurinkokeräinjärjestelmä koostuu keräimistä, varaajassa sijaitsevasta lämmönsiirtimestä, paisuntasäiliöstä, pumpusta, ohjausyksiköstä sekä putkistosta keräimien ja varaajan välillä (Tahkokorpi 2016, 77–78).



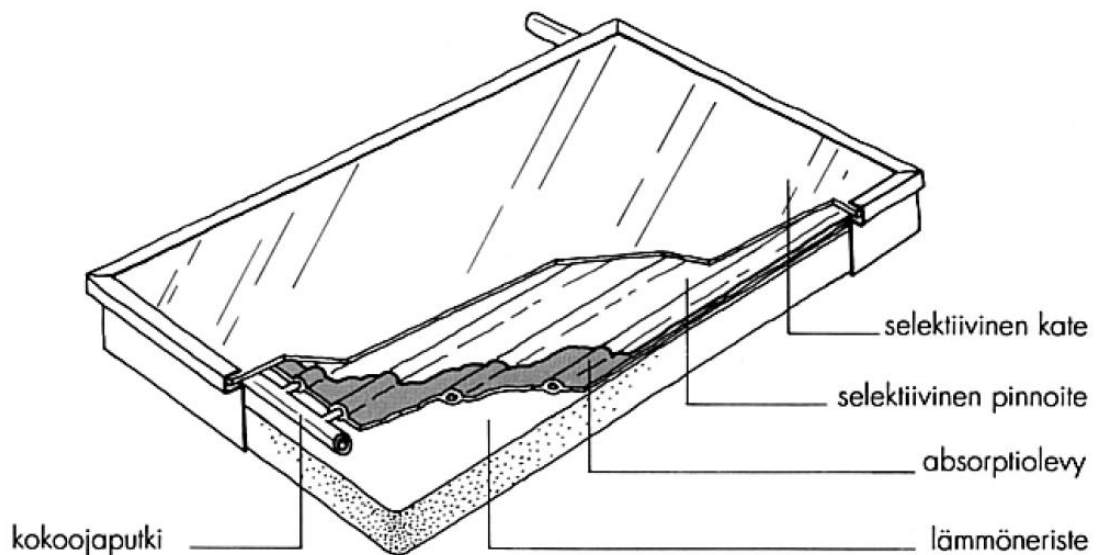
Kuva 6. Aurinkolämmitysjärjestelmä (Rakennustieto, 1992).

Aurinkokeräin muuttaa auringon säteilyenergian lämmöksi ja siirtää sen sisällään kiertävään lämmönsiirtonesteeseen. Järjestelmässä on yleensä kaksi lämpötila-anturia, katolla keräimien lähdössä sekä varaajan alaosassa. Ohjausyksikkö käyttää antureiden

lämpötilaeroa pumpun ohjaukseen ja käynnistää pumpun kun keräimien lämpötila on esimerkiksi kuusi astetta varaajan alaosa korkeampi. Nykyaikaiset järjestelmät ovat varustettu pulse width modulation -ohjattavilla (PWM) pumpuilla, joten ohjausyksikkö voi tarpeen mukaan säädellä myös nesteen kiertonopeutta portaattomasti (Jodat Ympäristöenergia, 2019.)

3.1.1 Tasokeräin

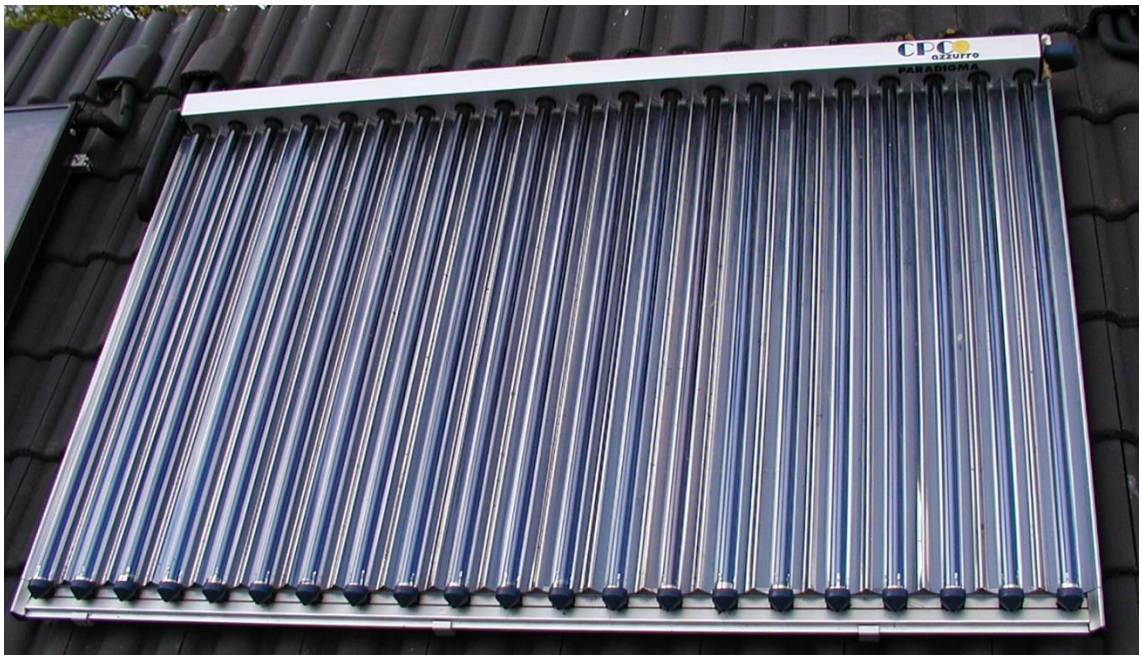
Tasokeräin on yleisin Euroopassa käytössä olevista nestekiertoisista keräintyypeistä. Ne ovat edullisempia kuin myöhemmin esiteltävät tyhjiöputkikeräimet. Tasokeräimessä auringon säteily lämmittää tummaa absorptiolevyä, johon on kiinnitetty lämmönsiirtonestettä kuljettavat ohuet absorptioputket. Nämä ohuet putket yhdistyvät suuremmiksi kokoojaputkiksi keräimen ylä- ja alaosaan. Tasokeräin on alumiinirunkoinen lasilla katettu ”kotelo”, jonka sisällä absorptiolevy ja putket ovat säältä suojassa. Keräin on lämpöeristetty lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Yleisin tasokeräimen pinta-ala 2–2,5 neliometriä (IEA Solar Heating & Cooling Programme 2019, 36; Rakennustieto 2019, 3.)



Kuva 7. Tasokeräin (Rakennustieto, 1992).

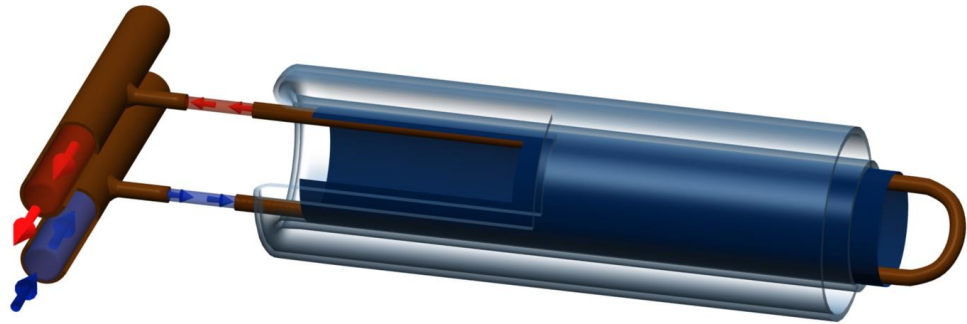
3.1.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräin on maailman yleisin nestekiertoinen keräintyyppi. Tyhjiöputkikeräin koostuu useasta rinnakkaisesta lasiputkesta, joiden sisällä auringon säteilyä vastaanottava absorptiopinta sijaitsee. Lasiputkiin on imetty tyhjiö, joka muodostaa tehokkaan lämmöneristeen. Tästä johtuen tyhjiökeräimien lämpöhäviöt ovat pienemmät kuin tasokeräimissä (IEA Solar Heating & Cooling Programme 2019, 36; Tahkokorpi 2016, 84.)



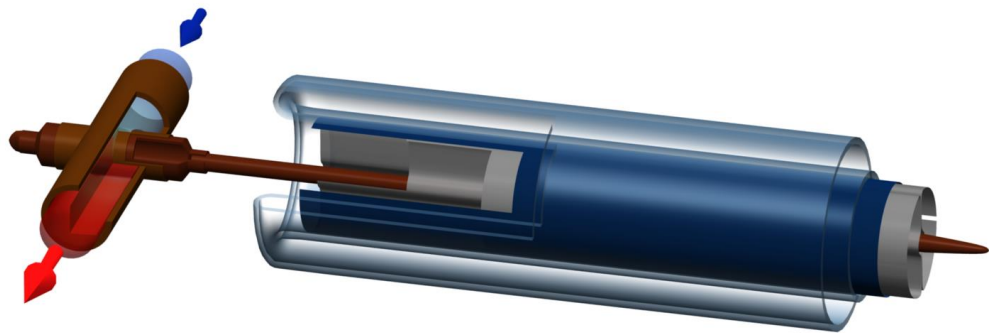
Kuva 8. Tyhjiöputkikeräin (Ra Boe, 2007).

Lämmönsiirto tyhjiöputkesta järjestelmän lämmönsiirtonesteeseen tapahtuu joko läpivirtausperiaatteella tai lämpöputken avulla. Läpivirtauksella toimivassa tyhjiöputkessa järjestelmän oma neste kiertää u:n muotoisen lenkin. Absorptiopinta on kiinnitetty tähän putkeen (Tahkokorpi 2016, 82.)



Kuva 9. Tyhjiöputki läpivirtauksella (Rkraft, 2009).

Lämpöputkilla (heat-pipe) varustetussa keräimessä ainoastaan yläosassa kiertää järjestelmän lämmönsiirtoneste, johon kaikki keräimen tyhjiöputket luovuttavat lämpönsä. Absorptiopintaan on kiinnitetty lämpöputki, jonka sisällä on helposti höyrystyvää nestettä. Lämpöputki muodostaa oman suljetun kierron, jossa höyrystynyt neste luovuttaa lämpönsä lämpöputken yläosassa ja kondensoituu takaisin nestemuotoon. Lämpöputkilla varustetusta keräimestä on helppo vaihtaa yksittäisiä putkia, jos niitä rikkoutuu (Tahkokorpi 2016, 82.)

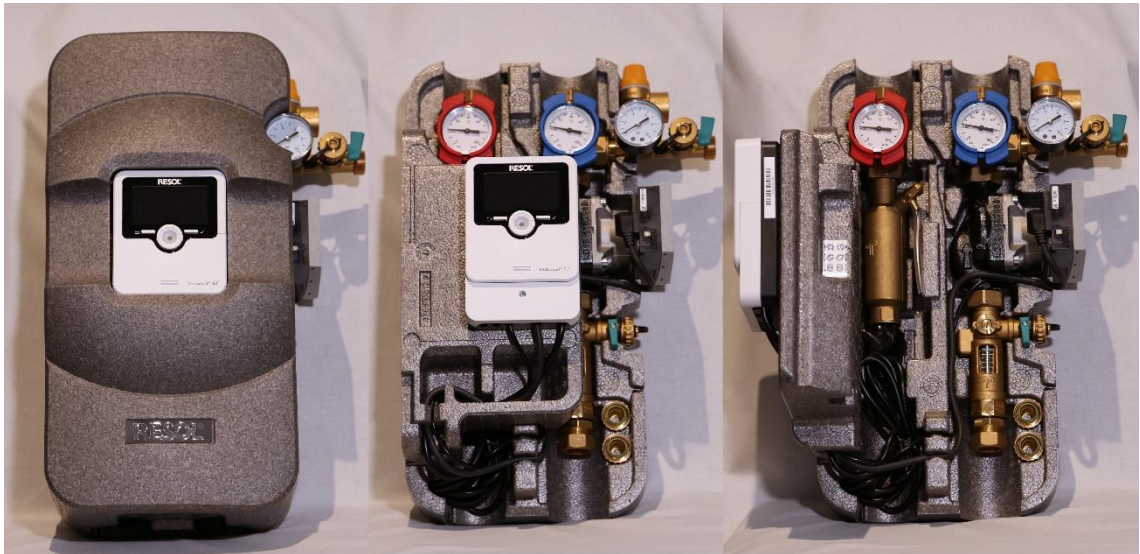


Kuva 10. Tyhjiöputki lämpöputkella (Rkraft, 2009).

3.1.3 Pumppuyksikkö

Nykyaikainen tehdasvalmisteinen pumppuyksikkö sisältää aurinkolämpöjärjestelmän toiminnan kannalta keskeiset laitteet valmiiksi asennettuna: kiertovesipumpun, sulku- ja takaiskuventtiilit, varoventtiilin, paisuntasäiliön liitännän, lämpömittarit, järjestelmän

täyttöyhteet sekä useimmiten myös järjestelmän ohjausyksikön. Pumppuyksikkö voi olla eristetty lämpöhäviöiden minimoimiseksi (Tahkokorpi 2016, 116.)



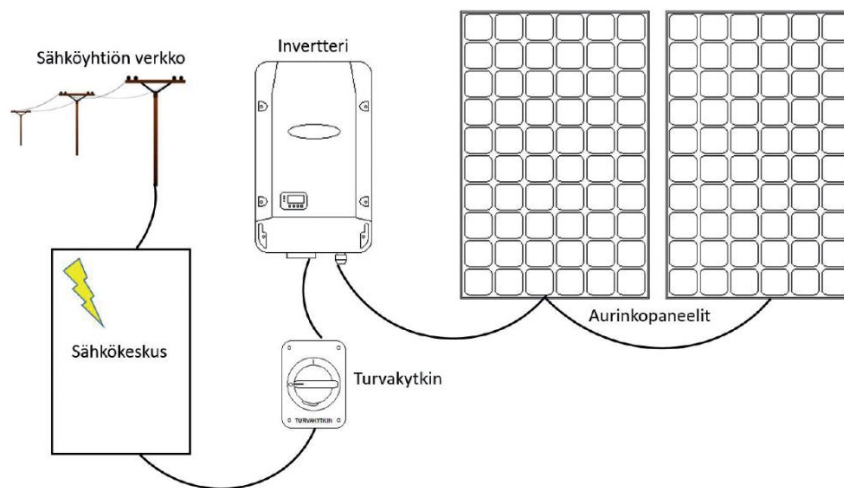
Kuva 11. Resol FlowSol B -pumppuyksikkö (Jani Rouvali).

3.2 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: sähköverkkoon liitettyihin järjestelmiin (on-grid) sekä sähköverkosta irti oleviin järjestelmiin (off-grid) (Sähkötieto ry 2017, 43).

3.2.1 Sähköverkkoon liitetty järjestelmä

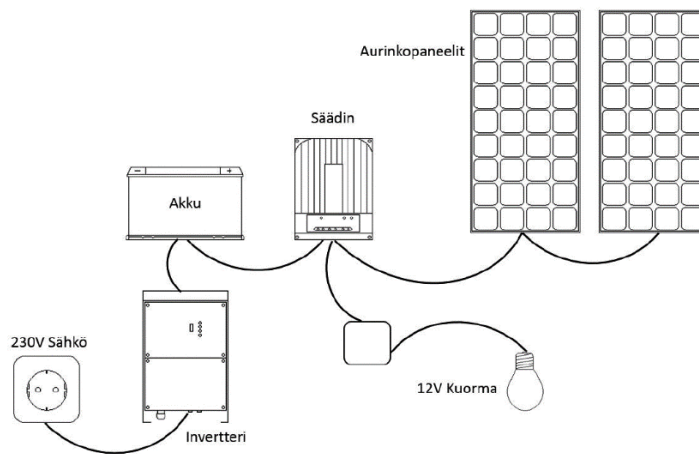
Tässä työssä keskitytään tarkemmin sähköverkkoon kytkettyyn järjestelmään, joka soveltuu paremmin tämän opinnäytetyön suunnittelukohteeseen. Tällainen järjestelmä koostuu aurinkopaneeleista ja verkkoon kytketystä invertteristä. On-grid-järjestelmä toimii yleisen sähköverkon rinnalla. Mikäli järjestelmä tuottaa enemmän sähköä kuin paikallisesti pystytään käyttämään, myydään ylijäämä sähköverkkoon. Kun järjestelmä ei tuota tarpeeksi sähköä, ostetaan sähköverkosta energiaa kulutuksen mukaan (Sähkötieto ry 2017, 43.)



Kuva 12. On-grid-järjestelmä (Sähkötieto ry, 2017).

3.2.2 Sähköverkosta irti oleva järjestelmä

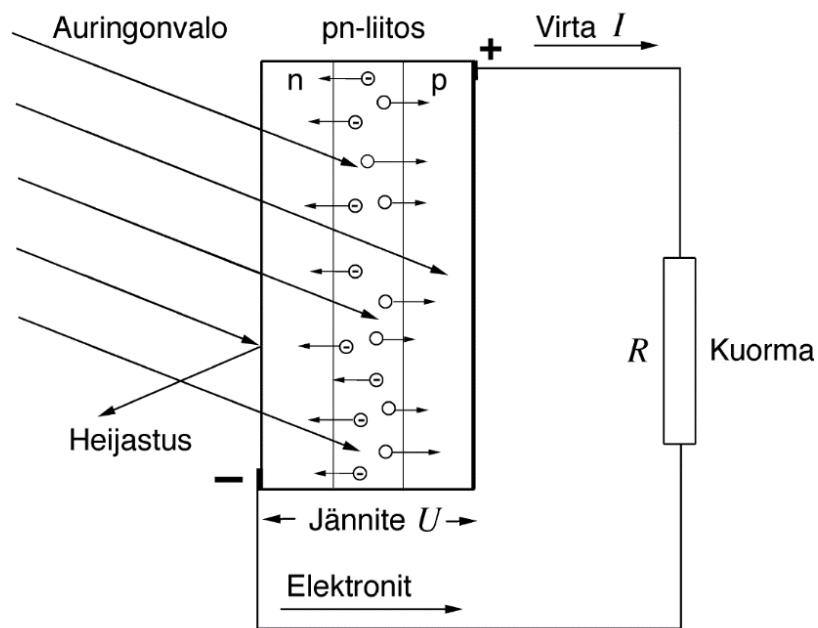
Sähköverkosta irti oleva järjestelmä tunnetaan myös saareke- ja mökkijärjestelmänä. Se toimii omana verkkonaan ja sen energiavarastona toimii akusto. Off-grid-järjestelmiä käytetään perinteisesti paikoissa, joissa ei ole saatavilla yleistä sähköverkkoa tai paikoissa, joihin sähköverkon rakentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Myös aurinkopaneeleilla varustettua asuntoautoa tai venettä voidaan ajatella tällaisena järjestelmänä. Järjestelmän tuottama sähköenergia käytetään paikallisesti tai varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Tällainen järjestelmä koostuu aurinkopaneeleista, akustosta sekä lataussäätimestä. Lataussäädin huolehtii akuston varaustilasta ja syöttää mökin mahdollista 12 V tasajänniteverkkoa. Varustamalla järjestelmä 12 VDC/230 VAC -invertterillä voidaan mökillä käyttää myös 230 VAC -laitteita (Sähkötieto ry 2017, 44–45.)



Kuva 13. Off-grid -järjestelmä (Sähkötieto ry, 2017).

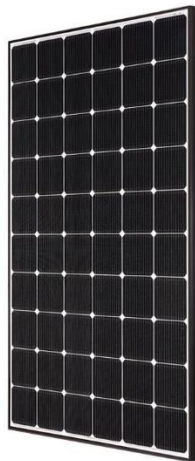
3.2.3 Aurinkopaneeli

Aurinkosähköjärjestelmän näkyvin komponentti on aurinkopaneeli. Aurinkopaneeli muodostuu useasta sarjaankytketystä aurinkokennosta. Aurinkopaneelin sähkön tuotto perustuu valosähköiseen ilmiöön. Aurinkokennojen puolijohdemateriaalina on yleisimmin yksi- tai monikiteinen pii. Tätä samaa puolijohdetta käytetään diodeissa, transistoreissa ja mikropiireissä. Paneelin kehys on valmistettu alumiinista ja sääsuojaukseksi pinnalle on asennettu lasi. Lasi toimii myös kehyksen kanssa kantavana rakenteena paneelissa, suojaten hauraita piikennoja. Aurinkopaneelin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 14.



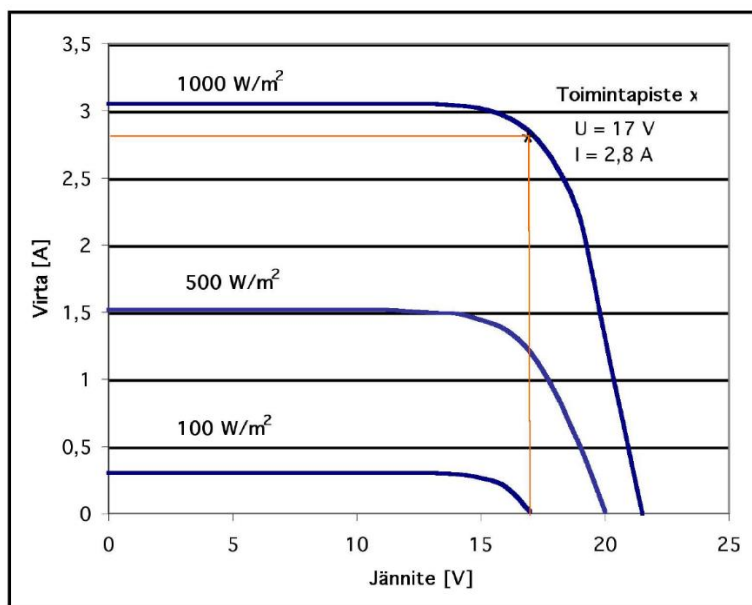
Kuva 14. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno Oy, 2012).

Valosähköisessä ilmiössä auringosta saapuva fotoni luovuttaa energiansa elektronille, jotta se voi irrottautua piin pinnalta. Tämän ilmiön avulla aurinkokenno pystyy tuottamaan sähkövirtaa. Sähkövirran määrä riippuu auringon säteilyn määrästä ja kennon pinta-alasta. Yhden aurinkokennon jännite on noin 0,5 V (Mertens 2014, 13.)



Kuva 15. Aurinkopaneeli (LG Electronics Inc, 2019).

Kuvassa 16 on esitetty 50 Wp aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla 25°C lämpötilassa. Lisäksi 1000 W/m² säteilyvoimakkuuden arvolla on esitetty mahdollinen paneelin toimintapiste, jossa jännite on 17 V ja virta 2,8 A. Paneelin teho näin ollen on $P=U \times I$ 17 V x 2,8 A=47,6 W.



Kuva 16. 50 Wp aurinkopaneelin ominaiskäyrä (Suntekno Oy, 2012).

3.2.4 Invertteri

Aurinkopaneelisto liitetään invertteriin. Sähkötekniikan peruskomponenttina invertteri eli vaihtosuuntaaja muuntaa tasasähkön vaihtosähköksi. Verkkoinvertteri hoitaa tasasähkö/vaihtosähkö -muunnoksen lisäksi muitakin tehtäviä. Omakotitaloluokan aurinkoinvertteri sisältää tyypillisesti yhdestä kahteen Maximum Power Point Tracking-säädintä (MPPT). Jos MPPT-säätimiä on kaksi, verkkoinvertteriin voidaan liittää kaksi erilaisissa olosuhteissa olevaa paneeliketjua (esimerkiksi rakennuksen katon eri lappeille). MPPT-säätimen tehtävänä on optimoida aurinkovoimalan toimintapistettä jatkuvasti siten, että paneeliketjusta saadaan parhain teho hyötykäyttöön (Sähkötieto ry 2017, 49–51; Rakennustieto 2019, 2,4.)

Aurinkoinvertteri toimii myös verkkoonliityntälaitteena yleiseen sähköverkkoon päin synkronoituen tämän kanssa samaan vaiheeseen. Yleiseen sähköverkkoon liitetyissä järjestelmissä on oleellista sähkönlaadun varmistaminen häiriöiden välttämiseksi.

Invertteri voi sisältää myös akuston lataussäätimet, jos tuotettua sähköä halutaan varastoida paikallisesti akkuun (Rakennustieto 2019, 5.)



Kuva 17. Fronius Symo 3.0-3-M invertteri (Fronius International; MC Solar & Electrical PTY LTD).

4 SUUNNITTELUKOHDE

4.1 Toimeksianto

Suunnittelukohde on 70-luvun lopussa laajennettu tiilikattoinen rintamamiestalo Salossa. Kohteessa on työllistävä puulämmitys. Suunnittelun tavoitteena on päästä irti puulämmittämisen vaivasta kesäaikana. Koska rakennuksen lämmityksentarve kesällä on pieni, tämä tarkoittaa lähinnä lämpimän käyttöveden valmistusta.

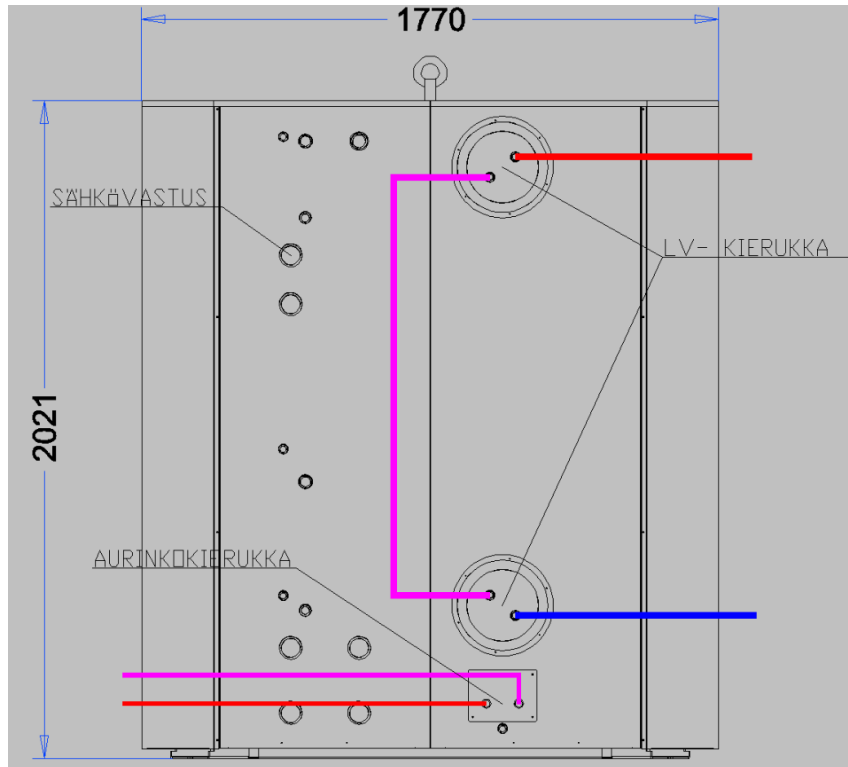
Tässä työssä lasketaan aurinkokeräin- ja aurinkosähköjärjestelmän tuotto-odotukset ympäristöministeriön ohjeen mukaan. Lisäksi molemmat järjestelmät simuloidaan Valentin Softwaren ohjelmistoilla T*SOL ja PV*SOL.

4.2 Järjestelmän kuvaus

Rakennuksessa on päälämmönlähteenä Ariterm 240 -puukattila, jonka yhteydessä on 1800-litrainen Jäspi Ovali EPK -varaaja. Varaaja on 2021 mm korkea, 1770 mm leveä ja 780 mm syvä. Se on varustettu kahdella käyttövesikierukalla, aurinkokierukalla sekä 6 kW:n sähkövastuksella. Rakennuksen lämmitys on toteutettu vesikiertoisena radiaattorilämmityksenä.

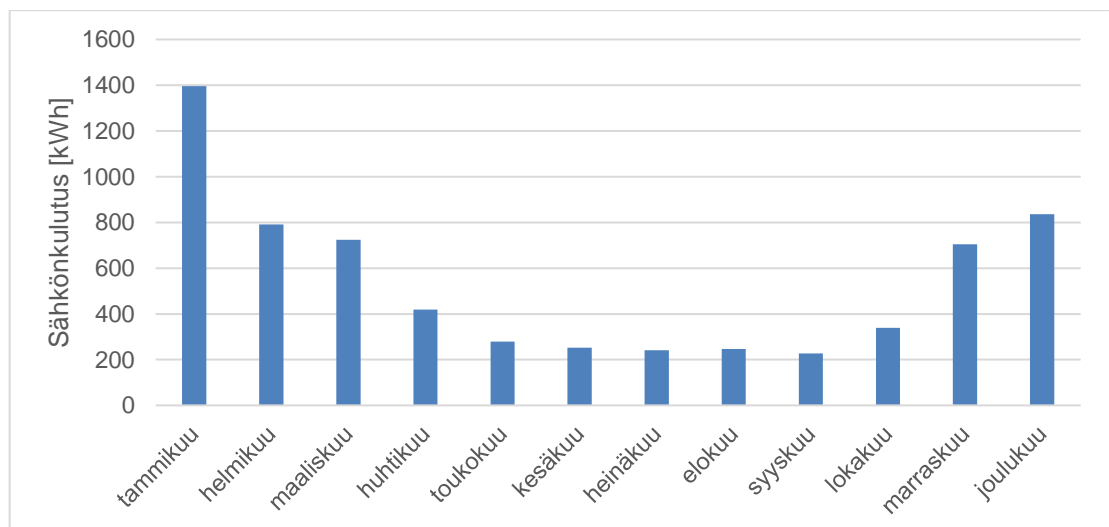


Kuva 18. Suunnittelukohde (Jani Rouvali).



Kuva 19. Jäspi Ovali EPK 1.8 kytkennät (Jani Rouvali).

Rakennuksen kattokulma on 30° sekä atsimuuttikulma -27° . Rakennuksen kuukausittainen sähkönkulutus on esitetty kuviossa 1. Sähköenergiankulutus on kuukausittainen keskiarvo vuosilta 2014–2018.



Kuvio 1. Kohteen kuukausittaisen sähkönkulutuksen keskiarvo.

4.3 Energiantarpeen määrittely

Kohteessa on oma kaivo, joten minkäänlaista käyttöveden kulutusmittarointia ei ole nähty tarpeelliseksi asentaa. Tästä johtuen kovinkaan tarkkaa kohdekohtaista lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittavan energian määrittelyä ei pystytä tekemään. Talossa asuu kaksi ihmistä, joten arvioidaan lämpimän käyttöveden kulutukseksi 90 litraa päivässä. Käyttöveden valmistamiseen tarvittava energia saadaan laskettua kaavasta 2.

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

Kaava 2. Energia (Tekniikan KAAVASTO, 107).

jossa

Q = energia, kWh

m = massa, kg

c_p = aineen ominaislämpökapasiteetti, kJ/(K*kg)

ΔT = lämpötilaero, K

$$Q = 90 \text{ kg} * 4,182 \frac{\text{kJ}}{(\text{K} * \text{kg})} * (55^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) = 18819 \text{ kJ} \approx 5,2 \text{ kWh}$$

Lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittava energia on noin 5,2 kWh päivässä. Kohteessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa ja jakojohdo on asennettu suojaputkeen. Tällöin häviötön lämmön tarve kerrotaan luvulla 1/0,85, jolloin saadaan LKV energiantarve lisättynä jakeluhäviöllä (Ympäristöministeriö 2018, 44).

	LKV lämmön		
	päiviä/kk	tarve	LKV+häviöt
	d	kWh/kk	kWh/kk
tammikuu	31	162,0525	190,65
helmikuu	28	146,37	172,2
maaliskuu	31	162,0525	190,65
huhtikuu	30	156,825	184,5
toukokuu	31	162,0525	190,65
kesäkuu	30	156,825	184,5
heinäkuu	31	162,0525	190,65
elokuu	31	162,0525	190,65
syyskuu	30	156,825	184,5
lokakuu	31	162,0525	190,65
marraskuu	30	156,825	184,5
joulukuu	31	162,0525	190,65
vuosi	365	1908,0375	2244,75

Taulukko 1. LKV energiantarve.

4.4 Mitoituslaskut

4.4.1 Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus perustuu käytön arviointiin. Varaajan optimaalinen koko on 2–3 kertaa päivittäisen lämpimän veden tarve. Keräinkentän ylimitoitusta tulee välttää, jottei järjestelmä kesän helteillä pääse kiehumaan. Lämpimän käyttöveden lämmityksen ohella energiaa voidaan käyttää kesäaikana myös esimerkiksi kosteiden tilojen lattialämmitykseen. Aurinkokeräinjärjestelmän lämpöenergiatuotto lasketaan tässä menetelmällä, joka perustuu Ympäristöministeriön ohjeeseen ”Aurinko-opas 2012”.

Aurinkolämpöjärjestelmän tuottama energia kuukausitasolla lasketaan kaavalla 3:

$$Q_{tuotto,A} = (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A}$$

Kaava 3. Aurinkolämmön tuotto (Aurinko-opas 2012, 11).

jossa

$$Q_{tuotto,A} = \text{aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla [kWh]}$$

$Q_{tarve,A}$ = järjestelmään kohdistuva lämmöntarve (lämmin käyttövesi) tarkastelujaksolla [kWh]

a,b,c,d,e,f = varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia. Tässä kansallisessa menetelmässä katettaville järjestelmille:

$$a = 1,029$$

$$b = -0,065$$

$$c = -0,245$$

$$d = 0,0018$$

$$e = 0,0215$$

$$f = 0$$

X = häviöt/tarve -suhde

Y = tuotto/tarve -suhde

Dimensioton suure X lasketaan kaavasta 4.

$$X = \frac{A * U_c * \eta_{kierto} * \Delta T * t_h * c_{cap}}{Q_{tarve,A}}$$

Kaava 4. Dimensioton suure X (Aurinko-opas 2012, 11).

jossa

A = keräinten valoaukon pinta-ala [m²]

U_c = keräinpiirin lämpöhäviökerroin [W/(m²K)]

η_{kierto} = keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvona käytetään $\eta_{kierto}=0,8$

ΔT = referenssilämpötilaero [K]

c_{cap} = varaajan kapasiteetin korjauskerroin

t_h = tarkastelujakson pituus (kuukausi), [h]

Keräinten lämmönsiirtoihin lämpöhäviökerroin lasketaan kaavalla 5.

$$U_c = a_1 + a_2 * 40 + \frac{U_L}{A}$$

Kaava 5. Lämmönsiirtoihin lämpöhäviökerroin (Aurinko-opas 2012, 12).

jossa

a_1 = aurinkokeräimen lämpöhäviökerroin, joka riippuu aurinkokeräimen valoaukon pinta-alasta [W/(m²K)]

a_2 = kerroin, joka ottaa huomioon aurinkokeräimen lämpöhäviökertoimen a_1 riippuvuuden lämpötilasta [W/(m²K²)]

U_L = keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K]. Jos keräinpiiristä ei ole tietoja saatavilla U_L arvioidaan kaavasta $U_L = 5 + 0,5 * A$ [W/K]

Referenssilämpötilaero määritetään kaavasta 6.

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e$$

Kaava 6. Referenssilämpötilaero (Aurinko-opas 2012, 13).

jossa

θ_e = kuukausittaisen ulkolämpötilan keskiarvo [°C]

θ_{ref} = referenssilämpötila, joka riippuu varaajan tyypistä ja järjestelmän käyttötarkoituksesta [°C]

Käyttöveden lämmitykseen referenssilämpötila lasketaan kaavalla 7:

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e$$

Kaava 7. Käyttöveden referenssilämpötila (Aurinko-opas 2012, 13).

jossa

θ_{hw} = lämpimän käyttöveden minimilämpötila, oletetaan olevan 55°C

θ_{cw} = kylmän veden lämpötila, oletetaan olevan 5°C

Varaajan kapasiteetin korjauskerroin lasketaan kaavalla 8.

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25}$$

Kaava 8. Varaajan kapasiteetin korjauskerroin (Aurinko-opas 2012, 13).

jossa

c_{cap} = varaajakapasiteetin korjauskerroin [-]

V_{tod} = varaajan suunniteltu ominaistilavuus [dm³/keräin-m²]

V_{ref} = referenssitilavuus = 75 dm³/keräin-m²

Dimensioton suure Y lasketaan kaavalla 9:

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_0 * \eta_{kierto} * E_{sät}}{Q_{tarve,A}}$$

Kaava 9. Dimensioton suure Y (Aurinko-opas 2012, 12).

jossa

A = keräinten valoaukon pinta-ala [m²]

IAM = keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin (incidence angle modifier)

η_0 = aurinkokeräimen optinen hyötysuhde [-]

Keräimiin kohdistuva säteilyenergia lasketaan kaavalla 10:

$$E_{sät} = k * E_{sät,0^\circ}$$

Kaava 10. Keräimiin kohdistuva säteilyenergia (Aurinko-opas 2012, 15).

jossa

$E_{sät}$ = keräimelle kohdistuva säteilyenergia tarkastelujaksolla [kWh/m²,kk]

$E_{\text{sät},0^\circ}$ = paikkakunta-kohtainen vaakatasolle tuleva säteilyenergia
[kWh/m²,kk]

k = korjauskerroin, joka riippuu keräimen kallistuskulmasta, paikkakunnasta ja tarkastelujaksosta

Käytän laskennassa Helsingin säteilytietoja sekä kuukausittaisia keskilämpötilaa.

	Esät 0°, [kWh/m ² , kk]	k, 30°	Esät, [kWh/m ² , kk]	θ_e , [°C]
tammikuu	6	1,5	9	-3,97
helmikuu	22	1,57	34,54	-4,5
maaliskuu	64	1,43	91,52	-2,58
huhtikuu	120	1,2	144	4,5
toukokuu	166	1,08	179,28	10,76
kesäkuu	169	1,03	174,07	14,23
heinäkuu	181	1,06	191,86	17,3
elokuu	127	1,14	144,78	16,05
syyskuu	82	1,29	105,78	10,53
lokakuu	26	1,42	36,92	6,2
marraskuu	8	1,33	10,64	0,5
joulukuu	4	1	4	-2,19

Taulukko 2. Kuukausittaiset säteilymäärät ja keskilämpötilat.

Toimeksiantaja haluaa, että keräinkentän mitoitus tehdään Wagner Solarin EURO L42 HTF -keräimillä. Tuotteella on Solar KEYMARK -sertifikaatti, ja sen saadakse, se on testattu puolueettomassa laboratoriossa. Testiraportti liitteenä 1. Testiraportista poimitut laskennassa tarvittavat arvot:

Wagner EURO L42 HTF -keräin

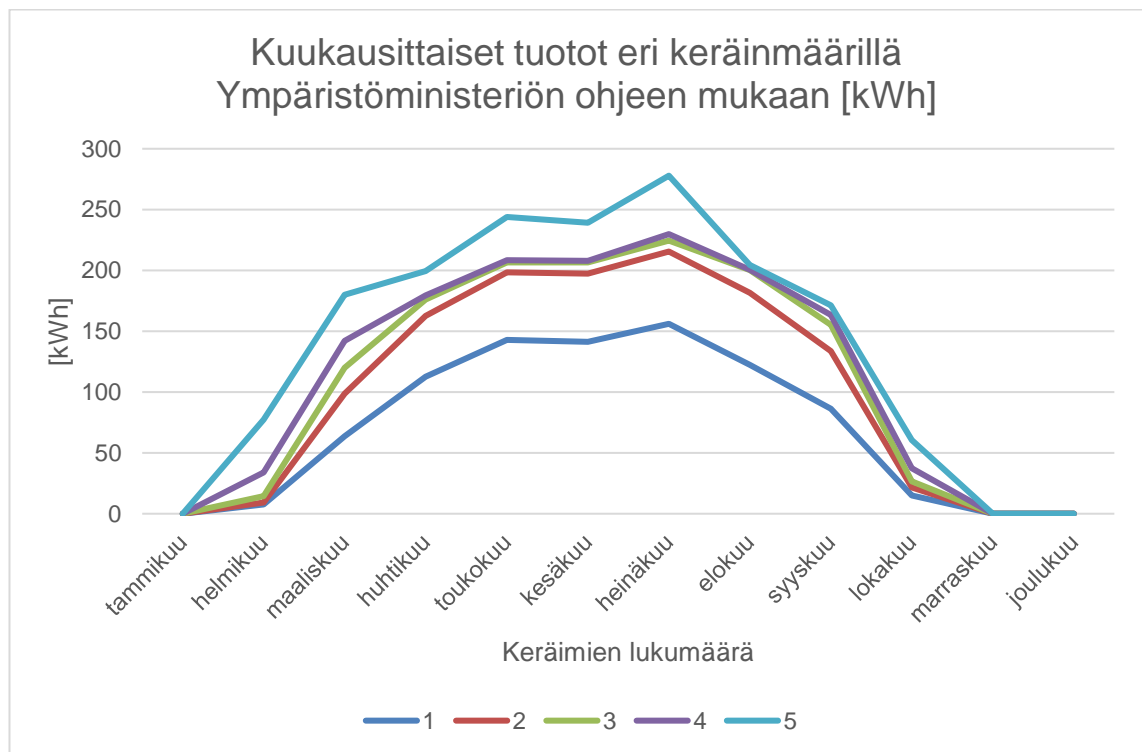
Keräimen valoaukon pinta-ala	2,01	m ²
Keräimen hyötysuhde η_0	0,78	-
Keräimen kohtauskulmakerroin IAM (30°)	0,96	-
Keräimen a_1	3,95	W/(m ² K)
Keräimen a_2	0,014	W/(m ² K ²)

Taulukko 3. Laskennassa tarvittavat parametrit.

Laskelmat on tehty kahdella Wagner EURO L42 HTF -keräimellä, keräinpinta-ala täten on 4m². Taulukossa 4 on esitetty tulokset keräimistä saatavalle energialle kuukausitasolla. Kuviossa 2 on esitetty tuotto-odotukset keräinmäärillä 1–5 kpl.

	X	Y	Q _{tuotto} [kWh]
tammikuu	6,167421	0,113115	0
helmikuu	6,254277	0,480623	17,95
maaliskuu	5,939628	1,150257	108,60
huhtikuu	4,779359	1,870174	173,17
toukokuu	3,753471	2,253258	210,10
kesäkuu	3,184807	2,260702	209,18
heinäkuu	2,681696	2,411368	228,17
elokuu	2,886546	1,819649	194,10
syyskuu	3,791163	1,373798	145,10
lokakuu	4,500763	0,464024	32,56
marraskuu	5,434878	0,138185	0
joulukuu	5,875715	0,050273	0
vuosi			1318,93

Taulukko 4. Keräinjärjestelmän tuottoarvio.



Kuvio 2. Lasketut tuotto-odotukset.

4.4.2 Aurinkosähköjärjestelmän tuotto

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen vaikuttaa eritoten kohteen sähkönkulutus, etenkin kesällä. Jollei järjestelmää haluta ylivoimistaa jostain syystä (esim. kiinteistön paremman E-luvun kompensointi), kannattaa tarkastella kesäaikaista pohjakuormaa. Ylituotannosta tällä hetkellä saatava hinta ei ole hyvä peruste investoida tarpeettoman suureen aurinkovoimalaan. Aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia $E_{s,pv,out}$ [kWh/a] lasketaan tässä noudattaen Ympäristöministeriön ohjeen ”Aurinko-opas 2012” -menettelytapaa.

Aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia lasketaan kaavalla 11:

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sät} * P_{max} * F_{käyttö}}{I_{ref}}$$

Kaava 11. Aurinkosähköjärjestelmän tuottama energia (Aurinko-opas 2012, 20).

jossa

$E_{sät}$ = vuosittainen aurinkopaneeleihin kohdistuva säteilyenergia [kWh/m²,a]

P_{max} = aurinkopaneelien tuottama maksimi sähköteho, jonka paneelisto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref}=1$ kW/m², lämpötilassa 25°C) [kW]

$F_{käyttö}$ = käyttötilanteen toimivuuskerroin [-]

I_{ref} = referenssisäteilytilanne [1 kW/m²]

Aurinkopaneelistoon kohdistuva auringonsäteilyn energia vuoden aikana lasketaan kaavalla 12:

$$E_{sät} = E_{sät,hor} * F_{asento}$$

Kaava 12. Aurinkopaneelistoon kohdistuva auringon säteilyenergia (Aurinko-opas 2012, 20).

jossa

$E_{sät,hor}$ = vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergia vuodessa [kWh/m², a]

F_{asento} = aurinkopaneelin ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-]

Aurinkopaneelin tuottama maksimi sähköteho P_{max} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa. Menetelmä on kuvattu standardissa SFS-EN 61829. Mikäli testattua mittaustulosta ei ole saatavissa voidaan P_{max} myös laskea kaavasta 13:

$$P_{max} = K_{max} * A$$

Kaava 13. Aurinkopaneelin tuottama maksimi sähköteho (Aurinko-opas 2012, 21).

jossa

K_{max} = huipputehokerroin, joka riippuu aurinkopaneelin tyypistä [kW/m²]

A = aurinkopaneeliston pinta-ala (ilman kehystä) [m²]

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}$ ottaa huomioon aurinkopaneelin ympäristön tekijöitä kuten toimintalämpötilan ja asennusympäristön vaikutuksen.

Aurinkopaneeliston ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin F_{asento} lasketaan kaavalla 14:

$$F_{asento} = F_1 * F_2$$

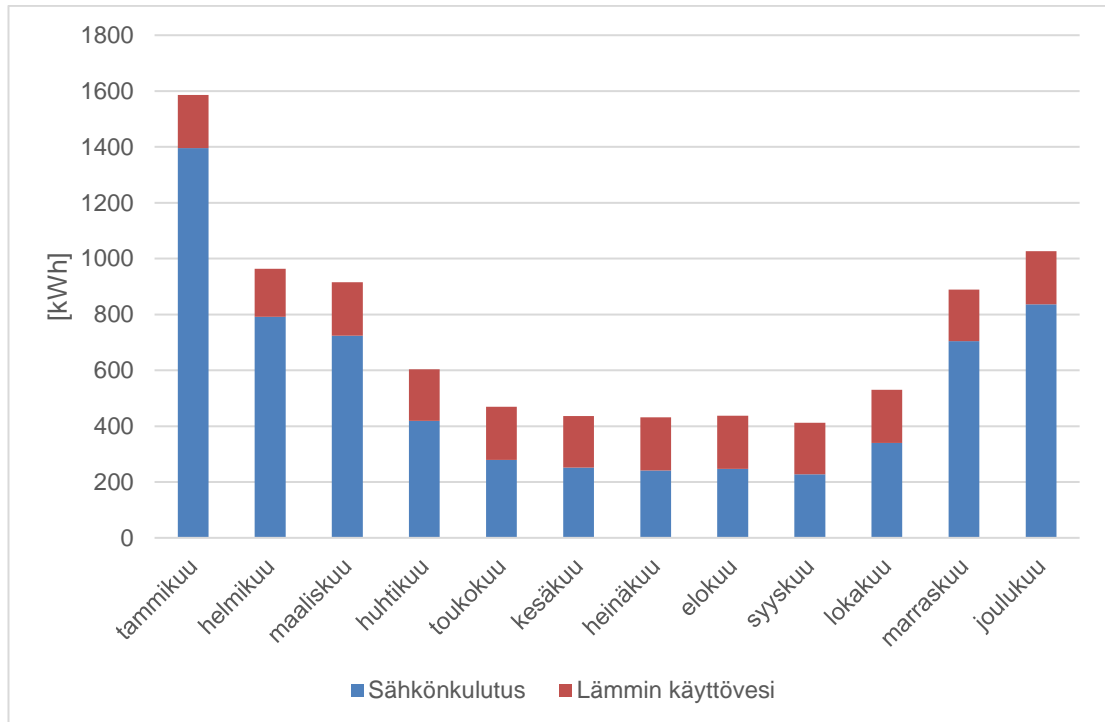
Kaava 14. Aurinkopaneeliston asennon korjauskerroin (Aurinko-opas 2012, 21).

jossa

F_1 = ilmansuunnan mukainen kerroin

F_2 = kallistuksen mukainen kerroin

Käytän laskennassa Helsingin säteilytietoja. Tarvittavat energian kuukausittaiset määrät on esitetty kuviossa 3. Kesäaikainen tarve on noin 400 kWh kuukaudessa, se sisältää rakennuksen pohjakuorman + lämpimän käyttöveden valmistuksen.



Kuvio 3. Energian tarve.

Vaakatasolle osuva auringonsäteilyn kokonaisenergia vuodessa $E_{\text{sät,hor}} = 975 \text{ kWh/m}^2$,
 a. Ilmansuunnan mukainen korjauskerroin etelän ja kaakon väliin suunnatulle pinnalle $F_1 = 1,0$. Kallistuksen mukainen korjauskerroin 30° kattokulmalle $F_2 = 1,2$. Tällöin

$$E_{\text{sät}} = 975 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2, \text{a}} * 1,0 * 1,2 = 1170 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2, \text{a}}$$

Järjestelmän tuotto arvioidaan kymmenellä SOLARWATT GmbH:n 285 Wp aurinkopaneelilla. Näin ollen maksimisähköteho referenssisäteilytilanteessa $P_{\text{max}} = 2,85 \text{ kW}$.

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}$ hieman tuulettuvalle rakenteelle on 0,75.

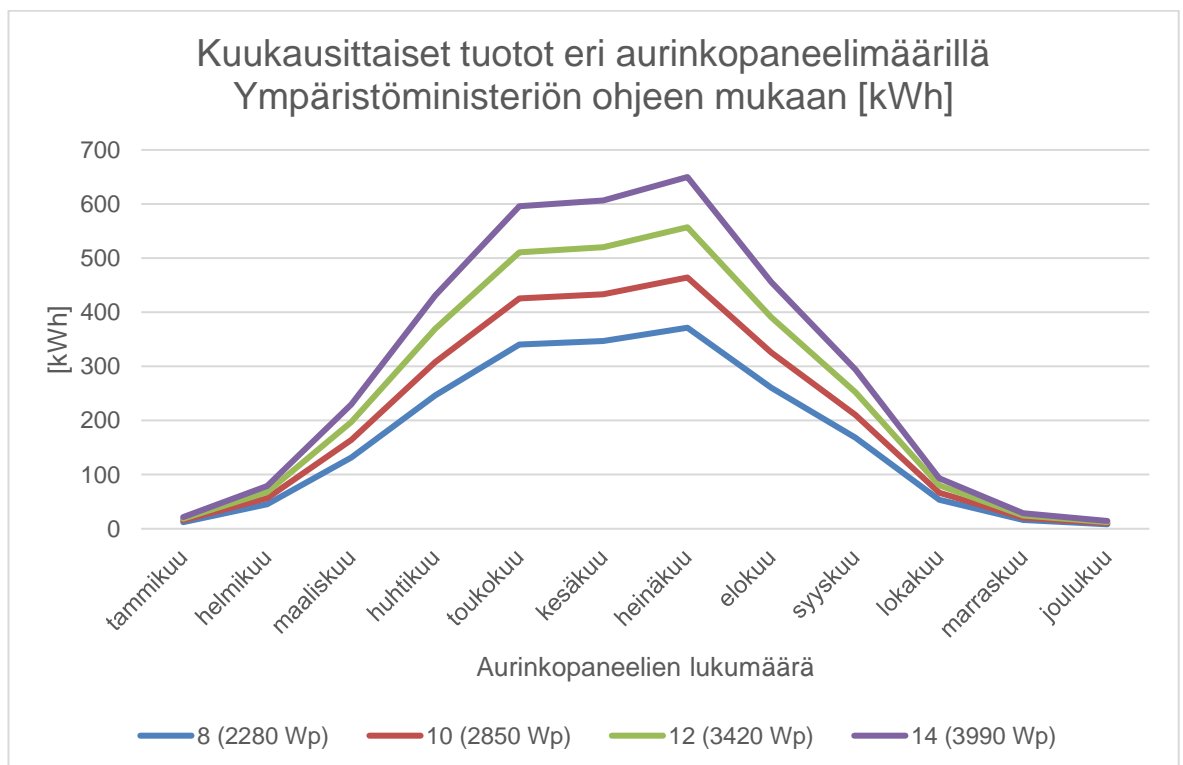
Vuotuiseksi sähköntuotoksi saadaan

$$E_{s,pv,out} = \frac{1170 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2, \text{a}} * 2,85 \text{ kW} * 0,75}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} = 2501 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Laskennallinen kuukausijaottelu saadaan jakamalla vuosituotto kuukausittaisten vaakatasolle tulevien säteilysummien suhteessa. Kuviossa 4 on esitetty tuotto-odotukset paneelimäärillä 8–14 kpl.

kuukausi	vaakatason säteilysumma kWh/kk (Helsinki)	suhteellinen osuus vuoden säteilysummasta	tuotto kWh/kk
tammikuu	6	0,006	15,4
helmikuu	22	0,023	56,4
maaliskuu	64	0,066	164,2
huhtikuu	120	0,123	307,8
toukokuu	166	0,170	425,8
kesäkuu	169	0,173	433,5
heinäkuu	181	0,186	464,3
elokuu	127	0,130	325,8
syyskuu	82	0,084	210,3
lokakuu	26	0,027	66,7
marraskuu	8	0,008	20,5
joulukuu	4	0,004	10,3
vuosi	975	1,000	2501

Taulukko 5. Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotto.

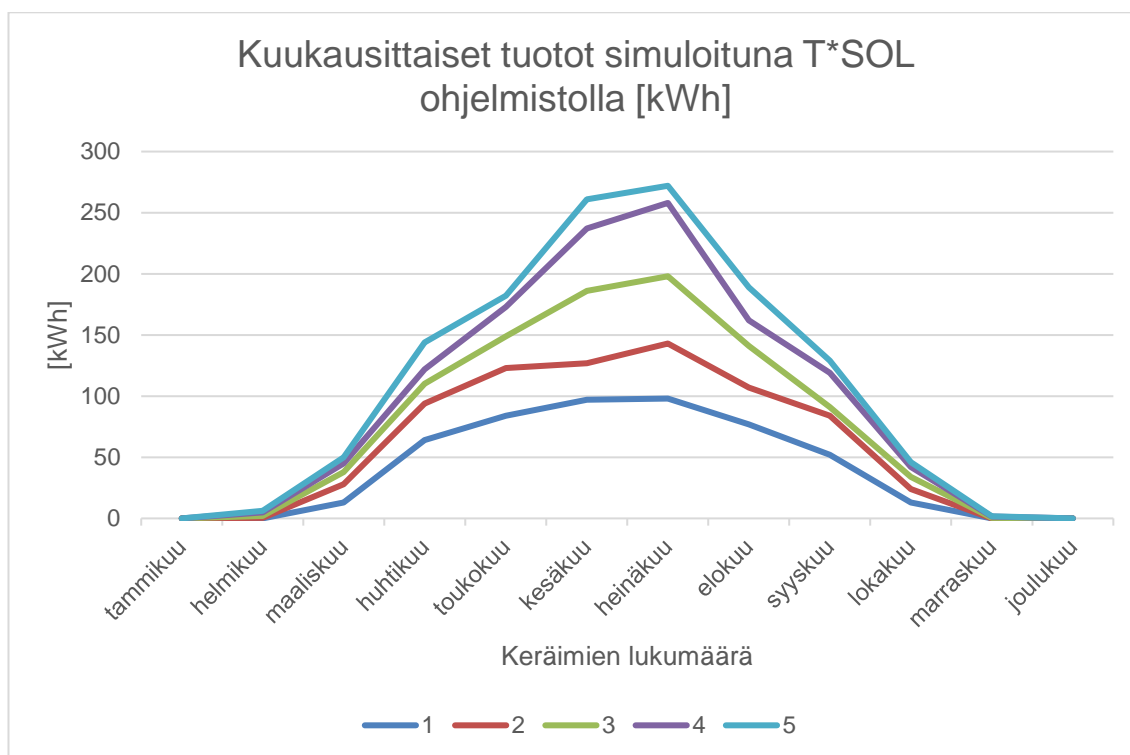


Kuvio 4. Aurinkopaneelien laskennalliset tuotot.

4.5 Simulaatiot

4.5.1 Aurinkokeräimien simulointitulokset

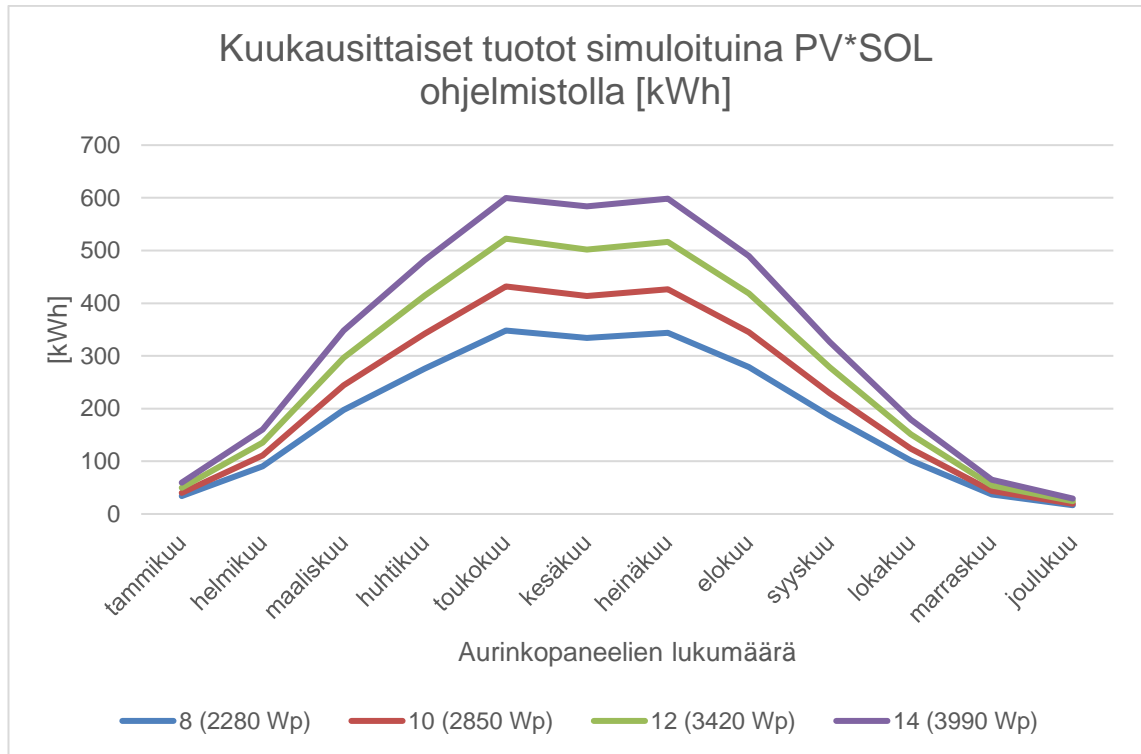
Simuloinnissa käytettiin saksalaisen Valentin Softwaren T*SOL -ohjelmistoa. Simulointi tehtiin myös toimeksiantajan haluamalla Wagner Solarin EURO L42 HTF -keräimillä, jotta saataisiin mahdollisimman vertailukelpoiset tulokset. Kuviossa 5 esitetään tuotto-odotukset 1–5 kpl keräinmäärillä.



Kuvio 5. Aurinkokeräinten tuotot T*SOL

4.5.2 Aurinkosähköpaneelien simulointitulokset

Simuloinnissa käytettiin saksalaisen Valentin Softwaren PV*SOL -ohjelmistoa. Aurinkopaneeleina käytettiin samoja SOLARWATT 285 Wp -paneeleja kuin aikaisemmissa laskuissa. Kuviossa 6 esitetään simuloidut tulokset 8–14 kpl paneelimäärillä.



Kuvio 6. Aurinkosähköpaneelien tuotot PV*SOL.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin kahta erilaista aurinkoenergiaa hyödyntävää järjestelmää toimeksiantajan kohteeseen. Samalla vertailtiin ympäristöministeriön ohjetta ”Aurinko-opas 2012” Valentin Softwaren ohjelmistoja vastaan.

Aurinkokeräimien tulosten vertailussa ilmeni, että T*SOL -ohjelmisto lupaa kesäkuukausille hieman suurempia tuottoja kuin Aurinko-opas 2012. Tuloksissa on melko suuret vaihtelut, 10–30%. Tämä saattaa johtua järjestelmäparametrien suuresta määrästä. T*SOL -ohjelmistossa keräinjärjestelmän keskeisimmän komponentin, energiavaraajan määrittelyyn on reilusti vaihtoehtoja.

Aurinkopaneelien vertailutulokset ovat yllättävän samansuuntaiset. Kesäkuukausina erot ovat maksimissaankin 10%, Aurinko-opaan luvatta hieman parempia tuottoja.

Tuloksista ilmenee että 3–4 kpl aurinkokeräimiä voisi olla sopiva määrä tähän kohteeseen. Keräinmäärä pitää valita siten, että kesällä voidaan mahdollisimman monta kuukautta olla ilman puunpolttoa välttäen kuitenkin ylikuumenemista. Ylikuumenemisestä järjestelmä voi kiehua ja vioittua. Aurinkosähköpuolella 10–12 kpl aurinkopaneeleita soveltuisi toimeksiantajan energiantarpeeseen. Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa mahdollisimman lähelle omaa tarvetta, koska ylituotannon myyminen ei ole kovinkaan kannattavaa.

6 YHTEENVETO

Ilmastonmuutoksen torjuminen on jossain muodossa miltei jokapäiväinen puheenaihe. Kuten myös uusiutuvien energiamuotojen käyttö ja käyttöönotto. Aurinkoenergian hyödyntäminen aurinkolämpönä tai aurinkosähkönä pientalojen lämmitysenergian tuotannossa, on Suomessa taloudellisesti mahdollista. Aurinkoenergian suurin haaste Suomessa on säteilyenergian voimakas vaihtelu vuodenaikojen välillä. Täten Suomessa aurinkoenergian hyödyntäminen vaatii aina jonkinlaisen hybridijärjestelmän rakentamista. Tässä työssä esiteltiin kaksi mahdollista uusiutuvaa energiamuotoa omakotiasujan tarpeisiin, aurinkokeräinjärjestelmä sekä aurinkosähköjärjestelmä. Työssä käytiin läpi kyseisien järjestelmien rakenne sekä tärkeimmät komponentit. Lisäksi nämä energianlähteet mitoitettiin mahdollisimman tarkasti toimeksiantajan tarpeisiin kahdella eri menetelmällä. Lopuksi menetelmien tuloksia vertailtiin vastakkain.

LÄHTEET

Christos Chalkias, Antigoni Faka, Kleomenis Kalogerppoulos 2013. Assessment of the Direct Sun-Light on Rural Road Network through Solar Radiation Analysis Using GIS. Saatavissa: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=33388> Viitattu 17.9.2019

European Union 2012. Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries. Saatavissa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/PVGIS_EU_2012_presentation.png Viitattu 17.9.2019

Fronius International 2019. Fronius Symo 3.0-3-M invertteri. Saatavissa: <https://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-3-0-3-m> Viitattu 17.9.2019

IEA Solar Heating & Cooling Programme 2019. Solar Heat Worldwide Saatavissa: <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2019.pdf> Viitattu 17.9.2019

Ilmatieteenlaitos 2019. Auringon rakenne ja elinkaari. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari> Viitattu 17.9.2019

Jodat Ympäristöenergia Oy 2019. Aurinkolämpö. Saatavissa: https://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Categories/Aurinkolaempoe Viitattu 17.9.2019

Kalogirou, Soteris. 2014. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Second Edition. Oxford: Elsevier Inc.

LG Electronics Inc 2019. High Efficiency LG NeON 2 module. Saatavissa: <https://www.lg.com/us/business/solar-panels/lg-LG325N1C-A5> Viitattu 17.9.2019

MC Solar & Electrical PTY LTD 2016. Fronius inverter review. Saatavissa: <https://mcelectrical.com.au/blog/fronius-inverter-review-primo-symo/> Viitattu 17.9.2019

Mertens, Konrad. 2014. Photovoltaics: fundamentals, technology and practice. Hoboken, NJ: Wiley

Motiva Oy 2019. Aurinkolämpösanasto. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolamposanasto Viitattu 17.9.2019

Motiva Oy 2019. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa Viitattu 17.9.2019

Motiva Oy 2019. Aurinkopaneelien asentaminen. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen Viitattu 17.9.2019

PVeducation.org 2019. Air Mass. Saatavissa: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass> Viitattu 17.9.2019

Ra Boe 2007. Evacuated tube collector. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector#/media/File:Vakuumroehrenkollektor_01.jpg Viitattu 17.9.2019

Rakennustieto Oy 1992. LVI 11-10194 Aurinkolämmitys.

Rakennustieto Oy 2019. RT 103076 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät.

Rakennustieto Oy 2019. RT103077 Aurinkolämpöjärjestelmät.

ResearchGate 2019. The three main components of solar radiation. Saatavissa: https://www.researchgate.net/figure/The-three-main-components-of-solar-radiation-1_fig1_239847020 Viitattu 17.9.2019.

Resol GmbH 2019. Resol FlowSol B HE pumppuyksikkö. Saatavissa: <https://www.resol.de/en/produktdetail/105> Viitattu 17.9.2019

Rkraft 2009. Direct flow evacuated tube. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector#/media/File:Vacuum_collector_double_tube.png Viitattu 17.9.2019

Rkraft 2009. Heat pipe evacuated tube Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector#/media/File:Vacuum_collector_single_tube.png Viitattu 17.9.2019

SolarPower Europe 2019. Global Market Outlook 2019-2023. Saatavissa: <http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf> Viitattu 17.9.2019

SunTekno Oy 2012. Aurinkopaneelit. Saatavissa: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf> Viitattu 17.9.2019

Sähkötieto ry 2017. ST-käsikirja 40. Espoo: Sähköinfo Oy

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into kustannus

Tammertekniikka 2000. Tekniikan KAAVASTO. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Wikipedia 2019. Solar thermal collector. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector Viitattu 17.9.2019

Ympäristöministeriö 2019. Aurinko-opas 2012. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750> Viitattu 17.9.2019

Ympäristöministeriö 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750> Viitattu 17.9.2019



Wagner EURO L42 HTF -Solar KEYMARK sertifikaatti

Precisely Right.

Page 1/2

[illegible]

Annual collector output based on EN 12975 Test Results, annex to Solar KEYMARK Certificate	Licence Number	011-7S1510 F
	Issued	24.04.2015

[illegible]

Collector mounting: Fixed or tracking	Fixed; slope = latitude - 15° (rounded to nearest 5°)
---------------------------------------	---

Overview of locations				
Location	Latitude °	Gtot kWh/m²	Ta °C	Collector orientation or tracking mode
Athens	38	1 765	18.5	South, 25°
Davos	47	1 714	3.2	South, 30°
Stockholm	59	1 166	7.5	South, 45°
Würzburg	50	1 244	9.0	South, 35°

G _{tot}	Annual total irradiation on collector plane	kWh/m ²
T _a	Mean annual ambient air temperature	°C
T _m	Constant collector operating temperature (mean of in- and outlet temperatures)	°C

The calculation of the annual collector performance is performed with the official Solar Keymark spreadsheet tool ScenoCalc. The collector output is calculated hour by hour according to the efficiency parameters from the Keymark test using constant collector operating temperature (T_m). A detailed description of the calculations is available at <http://www.sp.se/en/index/services/solar/ScenoCalc/sidor/default.aspx>.

<p>DIN CERTCO • Alboinstraße 56 • 12103 Berlin, Germany Tel: +49 30 7562-1131 • Fax: +49 30 7562-1141 • E-Mail: info@dincertco.de • www.dincertco.de</p>	<p>Datasheet version: 4.06, 2014-01-15</p> <p>ScenoCalc version: Ver. 4.06 (Jan. 2014)</p>
--	--